

Sciences et Ingénierie Numériques - Synthèse -

Pr. Malik GHALLAB

Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



La révolution des sciences et de l'ingénierie numériques

On assiste depuis peu au développement spectaculaire de trois catégories d'instruments, conceptuels et matériels, qui amplifient nos mécanismes de formulation et de résolution de problèmes, de compréhension du monde et d'ingénierie. Il s'agit :

- des modèles et des méthodes numériques, de la simulation, et du calcul à haute performance;
- des techniques d'imagerie, d'instrumentation de systèmes complexes, d'extraction et de recueil de données par des réseaux de capteurs communicants;
- des méthodes de traitement de données massives, de conservation, de fouille, d'association croisée, d'analyse, d'apprentissage de nouvelles relations et de visualisation de données issues des capteurs et des simulations.

La convergence de ces trois catégories d'instruments, leurs possibilités d'intégration, de composition de composants simples en systèmes de plus en plus complexes, de mise en réseau et de diffusion à des échelles inconnues jusqu'ici ont révolutionné tous les champs du savoir et de l'ingénierie. Ces approches changent profondément les bases épistémiques ainsi que les appareils conceptuels et pratiques des scientifiques et des ingénieurs. Elles leur permettent de :

- Observer, expérimenter in-silico, acquérir, visualiser et traiter des données massives;
- Représenter ces observations par des modèles prédictifs;
- Concevoir et réaliser des prototypes virtuels pour des prises des décisions pertinentes.

Dans tous les domaines scientifiques, les couplages entre divers phénomènes créent les difficultés majeures. La complexité de ces couplages peut être abordée en utilisant des techniques analytiques complémentaires, combinées en des approches numériques cohérentes. Ces approches numériques intègrent des modèles multi-physiques et multi-échelles, s'appuient sur de multiples mesures et données, et réalisent des simulations et des visualisations puissantes. Elles ouvrent de nouveaux paradigmes d'investigation pour les sciences de la matière, les sciences de la vie, celles de l'environnement, ainsi que les sciences humaines et sociales. Elles ont un impact profond sur la production scientifique, sur son organisation, ses modes d'évaluation et de diffusion.

Les approches numériques bouleversent également l'ingénierie dans tous les secteurs de production et de service. Elles ont entièrement modifié l'économie des processus de conception et radicalement transformé les mécanismes d'innovation. La conception de systèmes se fait dorénavant par composition incrémentale des modèles numériques de leurs composantes et par intégration en calculs qui permettent parfois des preuves formelles de propriétés, sinon des simulations réalistes, pour la caractérisation et l'optimisation des systèmes à concevoir.

La puissance de cette nouvelle boucle de conception se traduit en particulier :

- en termes de coût et de rapidité : elle réduit les étapes de maquettage de l'ingénierie traditionnelle et raccourcit le processus de conception;
- en la capacité d'explorer numériquement et de façon guidée un ensemble considérable de designs possibles, voire de designs a priori impossibles;
- elle permet l'ouverture du processus de conception de façon coordonnée à de nombreux métiers et, dans certains cas, de façon délibérément anarchique à la créativité des foules et elle ouvre la voie à de nouvelles et puissantes propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles (supervision, diagnostic, cycle de vie) du système à concevoir en lui intégrant des capteurs, des actionneurs, des calculateurs et des moyens de communication embarqués, en tant qu'organes actifs et intelligents participant aux fonctions du système et à son utilisation.

Les sciences et l'ingénierie numériques se présentent aujourd'hui comme un enjeu stratégique majeur pour le développement social et économique. Les principales agences de recherche dans le monde leur consacrent des programmes et des financements prioritaires. Des organismes publics leur sont dédiés dans divers pays. Nombreuses sont les grandes universités qui leur réservent de nouvelles structures et unités de formation et de recherche.

Impact et pertinence des sciences et de l'ingénierie numériques pour le Maroc

Le développement des sciences numériques est en particulier essentiel au Maroc dans les domaines suivants :

- Les sciences de l'environnement et les sciences de la terre, initialement focalisées sur les disciplines de base que sont, entre autre, la géologie, la chimie atmosphérique, l'hydrologie, l'océanographie ou la

séismologie. Les connections entre ces disciplines ont récemment fait ressortir des défis essentiels, notamment en climatologie et en écologie. Ces couplages ont conduit au paradigme des sciences de la terre. Un champ disciplinaire croissant de plus en plus utile pour la prise de décisions vitales, par le biais des modèles numériques, nécessaires pour une vision à long terme.

- La santé et les sciences de la vie démontrent les succès et les défis des sciences numériques à travers divers domaines d'application. L'imagerie et le traitement intensif de données ont transformé et amélioré la plupart des pratiques médicales. Ainsi, un modèle numérique du cœur intègre de multiples aspects allant de l'électrophysiologie, et de la mécanique du muscle, à la dynamique du fluide sanguin, pour données individualisées issues de l'imagerie médicale. La biochimie numérique conduit à de puissantes techniques de dépistage en pharmacologie pour prévoir des effets de médicaments; elle tient compte des modèles de plus en plus précis des cellules et leurs interactions et ouvre la voie aux thérapies personnalisées.
- Les sciences humaines et sociales expriment des besoins considérables de modèles économiques réalistes, de modèles démographiques ou de la dynamique des villes et leur organisation de plus en plus complexe. Le développement des instruments de collecte et de traitement des données et des outils de simulation prenant en compte le comportement humain et les contraintes sociales est également essentiel.
- La Chimie et les sciences des matériaux. L'étude de la structure et des propriétés des matériaux, des niveaux atomiques et moléculaires aux niveaux macroscopiques et fonctionnels, donne lieu à une grande variété d'applications. Celles-ci incluent en particulier les applications médicales et industrielles des nanotechnologies, par exemple pour les phosphates, l'argile et les matériaux hétérogènes : céramique, métaux, polymères, semi-conducteurs, composites et biomatériaux. In silico, les techniques de sélection ont déjà prouvé leur potentiel dans des domaines tels que les polymères photovoltaïques, prometteurs pour le développement de projets solaires marocains.

Par ailleurs, l'ingénierie numérique peut contribuer au développement social et économique du Maroc en particulier dans les secteurs suivants :

- Le domaine de l'énergie. Les applications vont des nouveaux matériaux et de dispositifs de production de l'énergie, à l'intégration de systèmes énergétiques dans des réseaux intelligents. Des techniques de criblage et de sélection numériques

donnent des résultats en photovoltaïque pour le choix des semi-conducteurs. Le travail sur des réseaux électriques illustre l'ingénierie numérique pour la conception et la réalisation de systèmes intelligents de gestion et de transport de l'énergie.

- Le domaine du transport fait face aujourd'hui aux défis des nouvelles énergies et à l'intégration de nouvelles modalités d'utilisation des véhicules dans des réseaux intégrés multimodaux de transport. Il nécessite des modèles allant de la mécanique et de la propulsion à la biomécanique de l'utilisateur, mais aussi des modèles sociologiques et de comportement des individus et des foules, où des simulations réalistes commencent à être développées.
- Le domaine de la construction et de l'habitat. Les problèmes de modélisation, de conception et d'optimisation de bâtiments, d'intégration de l'habitat dans l'espace physique et urbain, de gestion et d'exploitation de l'habitat, bénéficient largement des techniques numériques.
- Les cités numériques. Le poids démographique des villes ne cesse de croître ainsi que la complexité de leur gestion. Les cités numériques permettent d'aborder les problèmes d'organisation efficace d'un large spectre de services urbains, associés aux environnements de travail, de communication, de culture, de sport et de divertissement ainsi qu'aux réseaux sociaux.
- L'industrie chimique et minière. Les techniques numériques fournissent des modèles précis de processus chimiques et biochimiques complexes et permettent leur contrôle en temps réel pour des rendements optimisés. L'étude et le contrôle de la croissance de micro-algues et de phytoplancton pour la production de biocarburants ouvrent une perspective prometteuse. Les applications de ces processus aux industries des phosphates sont importantes pour l'économie marocaine. La géophysique numérique et les techniques d'imagerie sismique sont également essentielles pour l'industrie minière du Maroc, dont le sol riche est encore sous exploité.
- L'agronomie est un domaine d'ingénierie de base pour l'économie marocaine. Les modèles et les simulations pour la croissance des plantes et leur évolution dans leur environnement écologique, fournissent de nouveaux moyens pour optimiser les rendements des techniques agricoles. Ils sont déjà appliqués à l'optimisation de la culture de la betterave à sucre au Maroc et restent très prometteurs pour d'autres secteurs de l'agronomie.

Conclusions

La session plénière 2012 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a été consacrée aux défis des Sciences et l'ingénierie numériques. Elle a donné lieu à une vingtaine de conférences de synthèse et à de nombreuses discussions, en particulier au cours de deux tables rondes, abordant l'ensemble des points qui précèdent, en particulier aux niveaux :

- Des modèles mathématiques, des méthodes numériques, des techniques de simulation et de calcul intensif à haute performance;
- Des techniques d'instrumentation, de mesures, et d'imagerie exploitant de vastes réseaux de capteurs communiquant pour la collecte de signaux et l'observation;
- Des méthodes de traitement, de conservation et de visualisation de données massives, issues des mesures et des calculs, et des techniques d'indexation, de fouilles de données, de fusion et d'apprentissage automatique, permettant de passer de signaux aux données pertinentes, puis à de nouvelles connaissances.

L'apport de ces nouveaux paradigmes d'investigation a été illustré dans les avancées récentes de la médecine et des sciences de la vie, des sciences de la terre et de l'environnement, de l'agronomie et de l'écologie, du génie chimique et de l'ingénierie.

La session plénière a consacré une première journée aux défis interdisciplinaires des sciences et de l'ingénierie numériques, abordés en trois sessions :

- Les sciences du vivant
- L'ingénierie et les sciences de la matière
- L'environnement et l'écologie

Une deuxième journée a été consacrée aux méthodes et outils des sciences et de l'ingénierie numériques, présentés en quatre sessions:

- Mathématiques et informatique
- Simulation et calcul de haute performance
- Modèles et représentations alternatives
- Données et connaissances

Plusieurs conférenciers ont démontré que les défis sociétaux et scientifiques majeurs de notre époque ne relèvent pas de disciplines isolées, mais de démarches interdisciplinaires pour lesquelles les sciences et l'ingénierie numériques apportent les instruments conceptuels et pratiques d'investigation et d'avancement des connaissances.

En conclusion de cette session plénière, il a été convenu que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques :

1. Promeuve le développement des Sciences et l'ingénierie numériques au Maroc, en particulier par le soutien à des projets de recherche pluridisciplinaires, intégrant des compétences multiples pour le développement de méthodes et d'instruments des Sciences et l'ingénierie numériques sur des problématiques spécifiques et pertinentes pour notre pays.

2. Recommande des actions de formation sur les Sciences et l'ingénierie numériques aux niveaux de :

2.1. La formation scientifique aux concepts et méthodes de calculabilité et de traitement de l'information. Cette formation doit être introduite dès le lycée et développée largement dans tous les cursus scientifiques des universités et des écoles d'ingénieurs, y compris dans les départements de médecine, d'agronomie et des sciences de l'environnement. Les universités et les grandes écoles marocaines doivent instamment développer leurs cursus dans les sciences et l'ingénierie numériques, en particulier par des formations avancées en mathématiques appliquées, en informatique et dans les domaines associés pour former les générations futures de scientifiques et d'ingénieurs capables de maîtriser les concepts et les outils de demain.

2.2. L'alphabétisation numérique et l'initiation aux outils informatiques qui devraient commencer dès le cycle primaire, et être largement développées dans le cycle secondaire et la formation continue. Cette formation doit être perçue comme une nécessité sociale, un moyen de développement fantastique pour le Maroc qui ouvre la voie à de nouveaux emplois et à de nouvelles activités économiques et sociales.

La commission des travaux de l'académie veillera à la mise en œuvre adéquate de ces recommandations.

Nous reproduisons ci-après les résumés des communications présentées lors de la séance consacrée aux défis interdisciplinaires en sciences et imagerie numériques (SIN) ainsi que la séance consacrée aux méthodes et outils des SIN.